

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-320426

(43)Date of publication of application : 04.12.1998

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

(21)Application number : 09-127139

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 16.05.1997

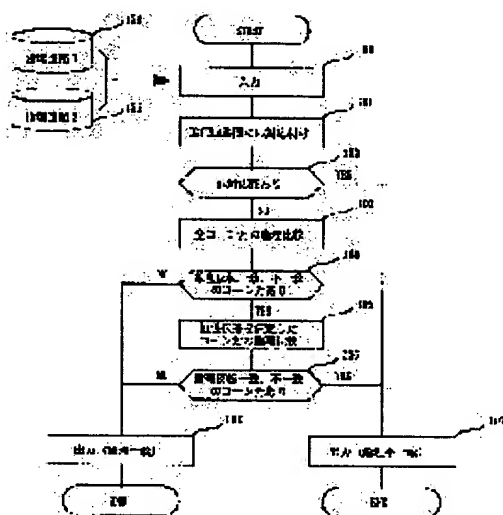
(72)Inventor : TANDAI MIYAKO
NIYA TAKAO
HAYASHI NOBUYUKI
SAKAKI HIROMOTO
ISHIDA TOMOKO

(54) LOGICAL EQUIVALENT VERIFYING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To correctly perform logical equivalent verification between two logic circuits even when logical optimization is performed over FFs(flip-flop) including a series of FFs constituting a loop.

SOLUTION: Two object logic circuits 1 and 2 of logical equivalent verification are inputted from logic circuit files 120 and 121 and the FFs included in the logic circuits 1 and 2 are made to correspond to each other. When there is an FF which does not correspond, a logic inequity between the logic circuits 1 and 2 is outputted. When all the FFs can be made to correspond to each other, a logic comparison is made as to all cone couples obtained by decomposing the combinational circuit surrounded with the input/output edges of the logic circuits 1 and 2 and the FFs. When all the cone couples have matching logic, the logic matching between the logic circuits 1 and 2 is outputted. If there are a logic-mismatching cone couple, polarity propagation is assumed for a polarity propagation candidate FF couple and a logic comparison of the cone couple is made. When it is decided that all the cone couples have matching logic, the logic matching between the logic circuits 1 and 2 is outputted and when there is a cone couple having mismatching logic, logic inequality between the logic circuits 1 and 2 is outputted.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-320426

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 6 F 17/50

識別記号

F I

C 0 6 F 15/60

6 6 4 C

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-127139

(22) 出願日 平成9年(1997)5月16日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 旦代 三弥子

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日立製作所汎用コンピュータ事業部内

(72) 発明者 新舎 隆夫

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日立製作所汎用コンピュータ事業部内

(72) 発明者 林 信幸

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日立製作所汎用コンピュータ事業部内

(74) 代理人 弁理士 武 顕次郎

最終頁に続く

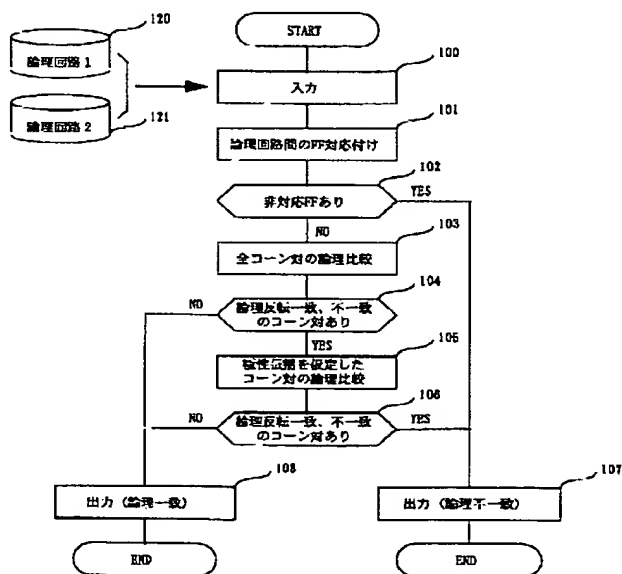
(54) 【発明の名称】 論理等価検証方法

(57) 【要約】

【課題】 ループを構成する一連のFFも含めたFFをまたがる論理最適化が行われている場合にも、2つの論理回路間の論理等価検証を正しく行う。

【解決手段】 論理等価検証を行う2つの論理回路1、2を論理回路ファイル120、121から入力し、論理回路1、2に含まれるFFの対応付けを行う。対応付けの結果、非対応FFがあれば、論理回路1、2間の論理不一致を出力する。全てのFFの対応付けができた場合、論理回路1、2の入出力エッジとFFとにより囲まれた組合せ回路を分解して得られた対応する全コーン対に対して論理比較を行う。全コーン対の論理比較の結果が全て論理一致の場合、論理回路1、2間の論理一致を出力する。論理一致でないコーン対がある場合には、極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定してコーン対の論理比較を行う。極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定したコーン対の論理比較の結果、全コーン対が論理一致と判定されたならば、論理回路1、2間の論理一致を出力し、論理一致でないコーン対があれば論理回路1、2間の論理不一致を出力する。

図1 論理等価検証のフローチャート



【特許請求の範囲】

【請求項1】 2つの論理回路の論理が一致しているかを判定する論理等価検証方法において、検証すべき論理回路のそれぞれに含まれるフリップフロップの対応付け、及び、各論理回路の入出力エッジとフリップフロップの入出力端子とにより囲まれた組合せ回路の対応する組合せ回路対について、各組合せ回路をコーンに分解し、対応する全コーン対の論理比較と、極性伝播を仮定した論理比較とを行い、前記フリップフロップの対応付けで全てのフリップフロップの対応がとれ、かつ、前記論理比較で全ての組合せ回路対の論理の一致が得られたとき、論理一致を出力することを特徴とする論理等価検証方法。

【請求項2】 前記極性伝播を仮定した論理比較は、極性伝播候補フリップフロップ対の決定と、極性伝播候補フリップフロップ対に極性伝播を仮定した論理比較とを、極性伝播候補フリップフロップ対が見つからなくなるまで、あるいは、全コーン対が論理一致と判定されるまで繰り返し行うものであることを特徴とする請求項1記載の論理等価検証方法。

【請求項3】 前記極性伝播候補フリップフロップ対の決定は、極性伝播を仮定した論理比較により論理反転一致と判定されたフリップフロップのデータ端子を出力切り口に持つコーン対の出力切り口フリップフロップ対を選択することにより行われることを特徴とする請求項2記載の論理等価検証方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、論理回路の論理等価検証方法に係り、特に、フリップフロップ（以下、FFという）をまたがって論理最適化が行われる論理回路の論理等価検証方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、機能論理から論理回路を自動生成する論理生成技術の実用化が進展している。これに伴い、その関連技術として、2つの論理が一致しているかを判定する論理等価検証の技術が必要となっている。2つの論理回路間の論理等価検証は、一般に論理回路をFFと組合せ回路とに分けて行われている。

【0003】FFの論理等価検証に関する従来技術として、例えば、特開平7-249062号公報に記載されている技術が知られている。この従来技術は、FFの論理等価検証方法の1つであるゲートマトリックス法に関するものである。また、組合せ回路の論理等価検証方法に関する従来技術として、例えば、S. Minato et.al., "Shared Binary Decision Diagram with Attributed Edges for Efficient Boolean Function Manipulation", Proc. of 27th DAC, pp. 52-57, 1990. に記載された技術が知られている。この従来技術は、組合せ回路の論理等価検証方法の1つであるBDD(Binary Decision Dia-

gram)法に関するものである。

【0004】一般に、論理生成技術と論理等価検証技術との間には密接な関係があり、また、論理等価検証方法は、検証する論理の論理最適化方法に左右される。

【0005】図6は同一論理を持つ3つの論理回路の例を示す図である。以下、図6を参照して従来技術による論理等価検証方法について簡単に説明する。図6において、600、700、800は論理回路、601、602、701、702、801、802はFF、603～609、703～708、803～807はゲートである。

【0006】図6(a)～図6(c)に示す論理回路600、700、800は、同一論理を持つが、これらの回路を生成する場合の論理最適化方法が異なっている。具体的には、論理回路700は、論理回路600におけるゲート603～605をゲート703、704に置換したものであり、論理回路800は、論理回路700におけるゲート704を削除し、論理回路700におけるFF701のQ端子（出力端子）をFF801のQN端子（出力反転端子）に変更したものである。なお、前記において、FF701とFF801とは対応FFである。

【0007】いま、前述の論理回路700と600との論理等価検証を従来技術による論理等価検証方法を用いて行うものとする。従来技術は、前述したように、2つの論理回路間の論理等価検証を、論理回路をFFと組合せ回路とに分けて行っており、図6に示す、論理回路700は、論理回路600に対してFFをまたがる論理最適化が行われていないので、従来技術による論理等価検証方法は、両回路の「論理一致」という結果を得ることができ、正しい結果を得ることができる。

【0008】一方、論理回路800と700との論理等価検証を従来技術による論理等価検証方法を用いて行うものとする。この場合、論理回路800は、論理回路700に対してFFをまたがる論理最適化が行われているので、従来技術による論理等価検証方法による検証では、両回路の「論理不一致」という結果となり、正しい結果を得ることができない。

【0009】また、FFをまたがった極性伝播を考慮した論理等価検証の先行技術として、例えば、特願平8-008598号により提案されている論理等価検証方法が知られている。

【0010】図7は同一論理を持つ2つの論理回路の別の例を示す図である。以下、図7を参照して前記先行技術による論理等価検証方法について簡単に説明する。図7において、900、1000は論理回路、901、902、1001、1002はFF、903～905、1003～1005はゲートである。

【0011】図7(a)、図7(b)に示す論理回路900、1000は、同一論理を持つが、論理最適化方法

が異なる。具体的には、論理回路1000は、論理回路900におけるFF901、902のQ端子（出力端子）をFF1001、1002のQN端子（出力反転端子）にそれぞれ変更したものである。ここで、FF901とFF1001、及びFF902とFF1002はそれぞれ対応FFである。

【0012】いま、論理回路1000と900との論理等価検証を前述の先行技術による論理等価検証方法を用いて行うものとする。この先行技術による論理等価検証方法は、入力側から組合せ回路の論理比較を行うものであるため、この例の場合、組合せ回路であるコーンc91とコーンc101との論理比較がコーンc92とコーンc102との論理比較より先に行われる。すなわち、先行技術は、FF対（FF902、FF1002）に極性伝播を仮定する前にコーンc91とコーンc101との論理比較を行っているため、このコーンc91とコーンc101との論理論理不一致であると判定する。その結果、先行技術は、両回路が「論理不一致」とであると判定することになり、正しい結果を得ることができない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】前述した従来技術は、FFをまたがった極性伝播を考慮していないため、論理最適化がFFをまたがって行われている場合、論理等価検証の結果に誤りを生じる場合があるという問題点を有している。また、前述した先行技術は、ループを構成している一連のFFをまたがって論理最適化が行われている場合、論理等価検証の結果に誤りを生じる場合があるという問題点を有している。

【0014】本発明の目的は、前記従来技術及び先行技術の問題点を解決し、論理回路がループを構成する一連のFFも含めたFFをまたがる論理最適化が行われている場合にも、2つの論理回路間の論理等価検証を正しく行うことのできる論理等価検証方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明によれば前記目的は、2つの論理回路の論理が一致しているか否かを判定する論理等価検証方法において、検証すべき論理回路のそれぞれに含まれるFFの対応付け、及び、各論理回路の入出力エッジとFFの入出力端子とにより囲まれた組合せ回路の対応する組合せ回路対の極性伝播を考慮した論理比較を行い、前記FFの対応付けで全てのFFの対応がとれ、かつ、前記論理比較で全ての組合せ回路対の論理の一致が得られたとき、論理一致を出力することにより達成される。

【0016】また、前記目的は、前記論理比較を、前記組合せ回路を分解して得られたコーン毎にまず論理比較を行い、その論理比較結果を基にして極性伝播候補FF対を決定し、極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定して再度コーン対の論理比較を行うことを繰り返して実行す

ることにより達成される。

【0017】また、前記目的は、前記極性伝播候補FF対として、極性伝播を仮定した論理比較により論理反転一致と判定された、FFのデータ端子を出力切り口に持つコーン対の出力切り口FF対を選択することにより達成される。

【0018】また、前記目的は、前記極性伝播候補FF対の決定において、各コーン対に対して、出力切り口のFF対に極性伝播を仮定することが望ましいかどうかを示す出力反転フラグ（出力切り口のFF対に極性伝播を仮定しない方が望ましいならば“1”を、出力切り口のFF対に極性伝播を仮定する方が望ましいならば“2”を設定し、どちらか不明の場合“0”または“3”を設定して、コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数と出力反転フラグを用いて極性伝播候補FF対を決定することにより達成される。

【0019】また、前記目的は、前記出力反転フラグの設定において、比較されるコーン対の出力切り口対がFFのデータ端子でないならば、出力反転フラグを“1”に設定し、コーン対の出力切り口対がFFのデータ端子で、当該コーン対が論理一致と判定されているならば、出力反転フラグを“1”に設定し、コーンの出力切り口対がFFのデータ端子で、当該コーン対が論理反転一致と判定されているならば、出力反転フラグを“2”に設定し、コーンの出力切り口対がFFのデータ端子で、当該コーン対が論理一致とも論理反転一致とも判定されていないならば、コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数を用いた出力反転フラグの設定を行うことにより達成される。

【0020】また、前記目的は、前記コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数を用いた出力反転フラグの設定において、出力反転フラグを“0”に初期設定し、コーン対の各入力切り口対に対して、入力切り口対がFFの出力端子、出力反転端子でない場合に、比較する各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数で出力反転フラグの値が“0”または“2”であれば、出力反転フラグを1カウントアップし、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が一方が奇数、他方が偶数で出力反転フラグの値が“0”または“1”であれば、出力反転フラグを2カウントアップし、コーン対の入力切り口対がFFの出力端子または出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理一致と判定されている場合に、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数で出力反転フラグの値が“0”または“2”であれば、出力反転フラグを1カウントアップし、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が一方が奇数、他方が偶数で出力反転フラグの値が“0”または“1”であれば、出力反転フラグを2カウントアップし、コーン対の入力切り口対がFF

の出力端子、または、出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理反転一致と判定されている場合に、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数で出力反転フラグが“0”または“1”であれば、出力反転フラグを2カウントアップし、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が一方が奇数、他方が偶数で出力反転フラグが“0”または“2”であれば、出力反転フラグを1カウントアップすることにより達成される。

【0021】さらに、前記目的は、コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数と出力反転フラグとを用いた極性伝播候補FF対の決定において、比較するコーン対の各入力切り口対に対して、入力切り口対がFFの出力端子、または、出力反転端子で、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数で、出力反転フラグの値が“2”で、入力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないならば、入力切り口対のFF対を極性伝播候補FF対とし、入力切り口対がFFの出力端子、または、出力反転端子で、各コーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数が一方が奇数、他方が偶数で、出力反転フラグの値が“1”で、入力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないならば、その入力切り口対のFF対を極性伝播候補FF対とし、コーンの出力切り口対に対して、出力反転フラグが“2”で、出力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないならば、出力切り口対のFF対を極性伝播候補FF対とすることにより達成される。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明による論理等価検証方法の一実施形態を、その処理動作を示すフローチャートにより詳細に説明する。

【0023】図1は本発明の一実施形態による論理等価検証方法の処理動作を説明するフローチャート、図2は図1のステップ105の処理を説明するフローチャート、図3は図2のステップ201の処理を説明するフローチャート、図4は図3のステップ306の処理を説明するフローチャート、図5は図3のステップ308の処理を説明するフローチャートである。

【0024】まず、図1に示すフローを参照して、本発明の一実施形態による論理等価検証方法の全体の処理動作を説明する。

【0025】(1) 論理等価検証を行う2つの論理回路1、2を論理回路ファイル120、121から入力し、入力した論理回路1と論理回路2とに含まれるFFの対応付けを行う。このFFの対応付けは、前述した従来技術によるゲートマトリックス法を用いて行われる(ステップ100、101)。

【0026】(2) ステップ101によるFFの対応付けの結果、非対応FFがあるか否かを判定し、非対応FFがあれば、論理回路1と論理回路2との論理は等価で

ないので、「論理不一致」を出力して処理を終了する(ステップ102、107)。

【0027】(3) ステップ101によるFFの対応付けの結果、全てのFFの対応付けができた場合、論理回路1、2のそれぞれについて、入力エッジとFFの入出力端子とにより囲まれる組合せ回路を抽出し、その組合せ回路をコーンに分解し、論理回路1、2のコーンの全てについてそれらの対応付けを行い、全てのコーン対に対して論理一致か否かを判定する。各コーン対における判定結果は、論理一致(コーン対が論理等価)、論理反転一致(一方のコーンの論理の出力を反転させた論理が他方のコーンの論理と等価)、論理不一致(論理一致でも論理反転一致でもない)のいずれかである。ここで、コーン対の論理比較は、前述した従来技術によるBDD法を用いて行われる(ステップ102、103)。

【0028】(4) ステップ103による全コーン対の論理比較の結果、全てのコーン対が論理一致となっているか否かを判定し、全てのコーン対が論理一致と判定された場合、論理回路1と論理回路2とは論理等価と判定してよいので、「論理一致」を出力して処理を終了する(ステップ104、108)。

【0029】(5) ステップ104の判定で、論理反転一致もしくは論理不一致のコーンが存在した場合、極性が移動しているFFを仮定し、極性伝播を仮定したコーン対の論理比較を行う(ステップ104、105)。

【0030】(6) ステップ105による極性伝播を仮定したコーン対の論理比較の結果、全てのコーン対が論理一致と判定された場合、「論理一致」を出力して処理を終了し、そうでない場合、「論理不一致」を出力して処理を終了する(ステップ106、108、107)。

【0031】次に、前述のステップ105の処理手順の詳細を、図2に示すフローを参照して説明する。

【0032】(1) ステップ104の判定で、論理反転一致もしくは論理不一致のコーンが存在した場合、2つの方法により極性伝播候補FF対を決定する。極性伝播候補FF対の決定1は、ステップ103、104による全コーン対の論理比較の結果、論理反転一致と判定されたコーン対で、FFのデータ端子を出力切り口とするものの全てのコーン対について、コーンの出力切り口のFF対を極性伝播候補FF対と決定するものである。極性伝播候補FF対の決定2は、回路の構造、データを使用して極性伝播候補FF対を決定する処理であり、その詳細は図3により後述する(ステップ200、201)。

【0033】(2) ステップ200、201の処理による極性伝播候補FF対の決定で、極性伝播候補FF対が見つからなかった場合、ステップ105の処理を終了する(ステップ202)。

【0034】(3) ステップ200、201の処理による極性伝播候補FF対の決定で、極性伝播候補FF対が見つかった場合、極性伝播候補FF対のデータ端子を出

力切り口に持つコーン対、及び、極性伝播候補FF対の出力端子を入力切り口に持つコーン対の論理比較を行う。このとき、論理比較対象のコーン対のうち論理回路2に含まれるコーンの出力切り口が極性伝播候補FF対のデータ端子であれば、コーンの出力に反転論理を追加し、入力切り口で極性伝播候補FF対の出力端子であるものに対しては、その入力に反転論理を追加して論理比較を行う。ここで、コーン対の論理比較は、前述した従来技術によるBDD法を用いて行われる（ステップ203）。

【0035】（4）ステップ203の処理による極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定したコーン対の論理比較の結果、全てのコーン対が論理一致となったか否かを判定し、全てのコーン対が論理一致となったと判定された場合、ステップ105の処理を終了する（ステップ204）。

【0036】（5）ステップ203の処理による極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定したコーン対の論理比較の結果、論理反転一致もしくは論理不一致のコーンが存在するとステップ204で判定された場合、再度、極性伝播候補FF対を決定する処理を行ってステップ202の処理に戻る。ここでの極性伝播候補FF対の決定1は、ステップ204による極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定したコーン対の論理比較の結果、論理反転一致と判定されたコーン対で、FFのデータ端子を出力切り口とするものの全てのコーン対について、コーンの出力切り口のFF対を極性伝播候補FF対と決定するものである（ステップ205）。

【0037】次に、前述のステップ201の処理手順の詳細を、図3に示すフローを参照して説明する。

【0038】（1）未処理のコーン対があるか否かを判定し、未処理のコーン対があれば未処理のコーン対を1つ選択し、なければステップ201の処理を終了する（ステップ300、301）。

【0039】（2）ステップ301で選択した未処理コーン対の出力切り口対がFFのデータ端子ではない、あるいは、FFのデータ端子で論理一致と判定済みであるか否かを判定し、未処理コーン対の出力切り口対がFFのデータ端子ではない、あるいは、FFのデータ端子で論理一致と判定済みである場合、コーンの出力切り口に極性伝播を仮定しない方がよく、このことを示すフラグ値である“1”を出力反転フラグに設定する（ステップ302、303）。

【0040】（3）ステップ302の判定で、ステップ301で選択した未処理コーン対がFFのデータ端子で論理反転一致と判定されたか否かを判定し、未処理コーン対がFFのデータ端子で論理反転一致と判定された場合、コーンの出力切り口に極性伝播を仮定した方がよく、このことを示すフラグ値である“2”を出力反転フラグに設定する（ステップ304、305）。

【0041】（4）ステップ304の判定で、ステップ301で選択した未処理コーン対の出力切り口対がFFのデータ端子で、論理不一致と判定されている場合、コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数を用いて出力反転フラグを設定する。なお、この処理の詳細は図4により後述する（ステップ306）。

【0042】（5）ステップ303、305、306で設定された出力反転フラグの値を判定し、その値が“1”または“2”の何れかであれば、ステップ301で選択した未処理コーン対の入力切り口FF対での極性伝播候補FF対の決定を行い、出力反転フラグの値が“1”または“2”の何れでもない場合、ステップ300の処理に戻る。なお、このステップ308の処理の詳細は図5により後述する（ステップ307、308）。

【0043】（6）ステップ303、305、306で設定された出力反転フラグの値が“2”で、ステップ308の処理で選択された出力切り口の極性伝播候補FF対が、極性伝播候補FF対であるか否かを判定し、出力切り口の極性伝播候補FF対が、極性伝播候補FF対でなければ、当該FF対を極性伝播候補FF対としてステップ300の処理に戻り、そうでなければステップ300の処理に戻る（ステップ309、310）。

【0044】次に、前述のステップ306の処理手順の詳細を、図4に示すフローを参照して説明する。

【0045】（1）ステップ306の処理が開始されると、まず、出力反転フラグを“0”に初期設定し、未処理のコーン入力切り口対があるか否かを判定し、未処理のコーン入力切り口対があれば、未処理のコーン入力切り口対を選択し、未処理のコーン入力切り口対がなければ処理を終了する（ステップ400～402）。

【0046】（2）ステップ402で選択した未処理のコーン入力切り口対が、FFの出力端子、出力反転端子ではない、あるいは、FFの出力端子または出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理一致であるか否かを判定し、未処理のコーン入力切り口対がFFの出力端子、出力反転端子ではない、あるいは、FFの出力端子または出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理一致と判定された場合、後述するステップ405の処理に移行する（ステップ403）。

【0047】（3）ステップ403の判定で、未処理のコーン入力切り口対が、FFの出力端子または出力反転端子で、そのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理一致でないと判定されている場合、さらに、その未処理のコーン入力切り口対が、FFの出力端子または出力反転端子で、そのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理反転一致か否かを判定し、そのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理反転一致であれば、後述するステップ407の処理に移行する。また、そのF

Fのデータ端子を出力とするコーン対が論理反転不一致である場合、ステップ401の処理に戻る(ステップ404)。

【0048】(4)ステップ403の判定で、FFの出力端子、出力反転端子でない、もしくは、FFの出力端子または出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理一致と判定された場合、そのコーン対のそれぞれのコーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数を調べ、これらのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数であれば、後述するステップ410の処理に移行する(ステップ405)。

【0049】(5)ステップ405で、それぞれのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数でない場合、さらに、それらのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数であるかを判定し、それらのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数である場合、後述するステップ409の処理に移行し、それ以外の場合、ステップ401の処理に戻る(ステップ406)。

【0050】(6)ステップ404で、未処理のコーン入力切り口対が、FFの出力端子または出力反転端子で、そのFFのデータ端子を出力とするコーン対が論理反転一致であると判定されている場合、FFの出力端子または出力反転端子でそのFFのデータ端子を出力とするコーン対のそれぞれのコーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数を調べ、これらのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数であれば、後述するステップ409の処理に移行する(ステップ407)。

【0051】(7)ステップ407で、それぞれのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数でない場合、さらに、それらのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数であるかを判定し、それらのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数である場合、後述するステップ410の処理に移行し、それ以外の場合、ステップ401の処理に戻る(ステップ408)。

【0052】(8)ステップ406の判定で、それぞれのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数である場合、及び、ステップ407の判定で、それぞれのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数である場合、コーンの出力切り口での反転調整を行う必要があるので、出力反転フラグの値を調べ、出力反転フラグの値が“0”または“1”であれば、出力反転フラグを2カウントアップしてステップ401の処理に戻り、そうでなければ、そのままステップ401の処理に戻る(ステップ409、411)。

【0053】(9)ステップ408の判定で、それぞれのコーンの反転数が一方は奇数で他方は偶数である場合、及び、ステップ405の判定で、それぞれのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数である場合、コーンの出力切り口での反転調整を行う必要がないので、出力反転フラグの値を調べ、出力反転フラグの値が

“0”または“2”であれば、出力反転フラグを1カウントアップしてステップ401の処理に戻り、そうでなければ、そのままステップ401の処理に戻る(ステップ410、412)。

【0054】次に、前述のステップ308の処理手順の詳細を、図5に示すフローを参照して説明する。

【0055】(1)未処理のコーン入力切り口対があるか否かを調べ、未処理のコーン入力切り口対があれば、未処理のコーン入力切り口対を選択し、未処理のコーン入力切り口対がなければ、ステップ308の処理を終了する(ステップ500、501)。

【0056】(2)ステップ501で選択した未処理のコーン入力切り口対がFFの出力端子であるか否かを調べ、コーン入力切り口対がFFの出力端子でなければステップ500の処理に戻る(ステップ502)。

【0057】(3)ステップ502の判定で、未処理のコーン入力切り口対がFFの出力端子である場合、その未処理のコーン入力切り口対に対して、それぞれのコーンの入力切り口と出力切り口との間の反転数を調べ、これらのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数であり、かつ、出力反転フラグの値が“2”であり、かつ、入力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないか否かを調べ、そうであれば、そのFF対を極性伝播候補FF対として決定してステップ500の処理に戻る(ステップ503、505)。

【0058】(4)ステップ503の処理で、それぞれのコーンの反転数が共に奇数、あるいは、共に偶数であり、かつ、出力反転フラグの値が“2”であり、かつ、入力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないか否かを調べた結果、そうでない場合、それぞれのコーンの反転数が、一方が奇数、他方が偶数であり、かつ、出力反転フラグの値が“1”であり、かつ、入力切り口対のFF対が極性伝播候補FF対でないか否かを調べ、そうであれば、そのFF対を極性伝播候補FF対として決定してステップ500の処理に戻り、そうでない場合、そのまま、ステップ500の処理に戻る(ステップ504、505)。

【0059】本発明の一実施形態は、前述で説明したフローによる処理を実行することにより、論理回路がループを構成しているFFをまたがって論理最適化が行われている場合にも、2つの論理回路の正しい等価検証を行うことができるものである。

【0060】次に、前述で説明したフローチャートにおいて、図6における論理回路600を論理回路1、論理回路800を論理回路2とそれぞれみなして本発明の一実施形態の処理動作を具体的に説明する。

【0061】(1)論理等価検証を行う2つの論理回路600、800を論理回路ファイル120、121から入力し、入力した論理回路600と論理回路800とに含まれるFFの対応付けを行う。ここで、FF601と

FF801とが、また、FF602とFF802とが対応FFとして認識される(ステップ100、101)。

【0062】(2)ステップ101におけるFF対応付けの結果、非対応FFがないので全コーン対の論理比較を行う。論理比較の対象となる対応するコーン対は(c61、c81)、(c62、c82)、(c63、c83)、(c64、c84)、(c65、c85)の5つである。このうちコーン対(c62、c82)、(c63、c83)、(c64、c84)は論理一致と判定され、コーン対(c61、c81)は論理反転一致、コーン対(c65、c85)は論理不一致と判定される(ステップ102、103)。

【0063】(3)ステップ103における全コーン対の論理比較の結果、論理反転一致、論理不一致のコーン対が存在するので極性伝播候補FF対を決定する処理が開始される。まず、ステップ103における全コーン対の論理比較で論理反転一致と判定されたコーン対(c61、c81)の出力切り口はFF対(FF601、FF801)のデータ端子なので、FF対(FF601、FF801)が極性伝播候補FF対として決定される(ステップ200)。

【0064】(4)次に、各コーン対に対して、ステップ302以降の処理が行われる。すなわち、コーン対(c61、c81)は、出力切り口対がFFのデータ端子でステップ103における全コーン対の論理比較で論理反転一致と判定されているので、出力反転フラグの値が“2”に設定される(ステップ304、305)。コーン対(c62、c82)は、出力切り口対がFFのデータ端子でステップ103における全コーン対の論理比較で論理一致と判定されているので、出力反転フラグの値に“1”が設定される(ステップ302、303)。コーン対(c63、c83)、(c64、c84)、(c65、c85)については、コーンの出力切り口対がFFのデータ端子でないため、出力反転フラグの値に“1”が設定される(ステップ302、303)。

【0065】(5)次に、出力反転フラグの値が“1”または“2”のコーン対(c61、c81)、(c62、c82)、(c63、c83)、(c64、c84)、(c65、c85)に対して、コーン対の入力切り口FF対での極性伝播候補FF対の選択を行う(ステップ307、308)。コーン対(c61、c81)、(c62、c82)、(c63、c83)、(c64、c84)に対しては、入力切り口対は、全てFFの出力端子、出力反転端子でないため、新たに極性伝播候補FF対は選択されない(ステップ500～502)。コーン対(c65、c85)に対しては、いずれの入力切り口対もステップ503、504の条件を満たさないため新たに極性伝播候補FF対は選ばれない(ステップ500～502)。以上の処理で、最終的に(FF601、FF801)が極性伝播候補FF対として選択される。

【0066】(6)極性伝播候補FF対(FF601、FF801)に極性伝播を仮定して、極性伝播候補FF対の入力側のコーン対(c61、c81)と出力側のコーン対(c65、c85)とに対し論理比較を行う。コーンc81の論理はもともとコーンc61の反転論理と等価であるため、コーン対(c61、c81)の論理比較結果は論理一致となる。また、コーン対(c65、c85)においても、入力切り口FF801の出力反転端子に反転論理を追加すれば、FF801の出力端子を入力切り口にしたのと同じことになるので、論理比較結果は論理一致となる(ステップ203)。

【0067】(7)ステップ203の極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定した論理比較により、全コーン対が論理一致となるため、「論理一致」を出力して処理を終了する(ステップ204、106、107)。

【0068】次に、前述で説明したフローチャートにおいて、図7における論理回路900を論理回路1、論理回路1000を論理回路2とそれぞれみなして本発明の一実施形態の処理動作を具体的に説明する。

【0069】(1)論理等価検証を行う2つの論理回路900、1000を論理回路ファイル120、121から入力し、入力した論理回路900と論理回路1000とに含まれるFFの対応付けを行う。ここで、FF901とFF1001とが、また、FF902とFF1002とが対応FFとして認識される(ステップ100、101)。

【0070】(2)ステップ101におけるFF対応付けの結果、非対応FFがないので全コーン対の論理比較を行う。論理比較の対象となる対応するコーン対は、(c91、c101)、(c92、c102)、(c93、c103)、(c94、c104)、(c95、c105)の5つである。このうちコーン対(c93、c103)、(c94、c104)は論理一致と判定され、コーン対(c92、c102)、(c95、c105)は論理反転一致、コーン対(c91、c101)は論理不一致と判定される(ステップ102、103)。

【0071】(3)ステップ103における全コーン対の論理比較の結果、論理反転一致、論理不一致のコーン対が存在するので極性伝播候補FF対を決定する処理が開始される。まず、ステップ103における全コーン対の論理比較で論理反転一致と判定されたコーン対(c92、c102)の出力切り口はFF対(FF902、FF1002)のデータ端子なので、FF対(FF902、FF1002)が極性伝播候補FF対として決定される(ステップ200)。

【0072】(4)次に、各コーン対に対して、ステップ302以降の処理が行われる。すなわち、コーン対(c93、c103)、(c94、c104)、(c95、c105)は、コーンの出力切り口対がFFのデータ端子でないため、出力反転フラグの値を“1”に設定

する(ステップ302、303)。コーン対(c92、c102)は、出力切り口対がFFのデータ端子でステップ103における全コーン対の論理比較で論理反転一致と判定されているので、出力反転フラグの値を“2”に設定する(ステップ304、305)。コーン対(c91、c101)は、出力切り口対がFFのデータ端子でステップ103における全コーン対の論理比較で論理不一致と判定されているので、コーンの出力切り口と入力切り口との間の反転数を用いて出力反転フラグの値を設定する(ステップ306)。

【0073】(5)コーン対(c91、c101)に対して、出力反転フラグを“0”に初期設定した後、各入力切り口対〔(FF902の出力端子、FF1002の出力反転端子)、(入力エッジI0、入力エッジI0)〕に対して、ステップ403以降の処理を行う。FF902のデータ端子、FF1002のデータ端子を出力とするコーン対(c92、c102)は、ステップ103における全コーン対の論理比較の結果、論理反転一致と判定されており、FF901のデータ端子とFF902の出力端子との間の反転数が奇数、FF1001のデータ端子とFF1002の出力反転端子との間の反転数が偶数(FF601の出力反転分もカウントするため)なので、出力反転フラグを“1”に設定する(ステップ403、404、407、408、410、412)。コーン対(c91、c101)各入力エッジI0はFFの出力端子、出力反転端子ではなく、FF901のデータ端子と入力エッジI0との間の反転数、FF1001のデータ端子と入力エッジI0との間の反転数は共に奇数であり、出力反転フラグはすでに“1”に設定済みであるので、出力反転フラグの変更は行われない(ステップ403、405、410)。以上の処理により、コーン対(c91、c101)に対して、出力反転フラグの値が最終的に“1”に設定される(ステップ306)。

【0074】(6)次に、出力反転フラグの値が“1”または“2”であるコーン対(c91、c101)、(c92、c102)、(c93、c103)、(c94、c104)、(c95、c105)に対して、コーン対の入力切り口FF対での極性伝播候補FF対の決定を行う(ステップ307、308)。まず、コーン対(c93、c103)、(c94、c104)に対して、これらのコーン対は、入力切り口対が全てFFの出力端子、出力反転端子でないため、新たに極性伝播候補FF対の選択は行われない(ステップ500～502)。コーン対(c92、c102)に対して、これらのコーン対は、入力切り口対がステップ503、504の条件を満たさないで新たに極性伝播候補FF対の選択は行われない(ステップ500～502)。コーン対(c91、c101)は、出力反転フラグが“1”で、入力切り口対(FF902の出力端子、FF1002の

出力反転端子)と出力切り口対(FF901のデータ端子、FF1001のデータ端子)との間の反転数が前者が奇数、後者が偶数であるが、FF対(FF902、FF1002)はすでに極性伝播候補として選択済みであるため、新たに極性伝播候補FF対の選択は行われない(ステップ500～502)。コーン対(c95、c105)についてもコーン対(c91、c101)と同様の理由で新たに極性伝播候補FF対の選択は行われない。以上の処理により、最終的にFF対(FF902、FF1002)が極性伝播候補FF対として決定される。

【0075】(7)次に、極性伝播候補FF対(FF902、FF1002)に極性伝播を仮定して、極性伝播候補FF対の入力側のコーン対(c92、c102)と出力側のコーン対(c91、c101)、(c95、c105)との論理比較を行う。コーンc102の論理はもともとコーンc92の反転論理と等価であるため、コーン対(c92、c102)の論理比較結果は論理一致となる。また、コーン対(c91、c101)、(c95、c105)においても、入力切り口FF1002の出力反転端子に反転論理を追加すれば、FF1002の出力端子を入力切り口にしたのと同じことになるので、論理比較結果は論理一致となる(ステップ203)。

【0076】(8)ステップ203の極性伝播候補FF対に極性伝播を仮定した論理比較により、全コーンが論理一致となるため、「論理一致」を出力して処理を終了する(ステップ204、106、107)。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、ループを構成する一連のFFも含めたFFをまたがる論理最適化が行われている場合でも、2つの論理回路間の論理等価検証を正しく行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による論理等価検証方法の処理動作を説明するフローチャートである。

【図2】図1のステップ105の処理を説明するフローチャートである。

【図3】図2のステップ201の処理を説明するフローチャートである。

【図4】図3のステップ306の処理を説明するフローチャートである。

【図5】図3のステップ308の処理を説明するフローチャートである。

【図6】同一論理を持つ3つの論理回路の例を示す図である。

【図7】同一論理を持つ2つの論理回路の別の例を示す図である。

【符号の説明】

120、121 論理回路ファイル

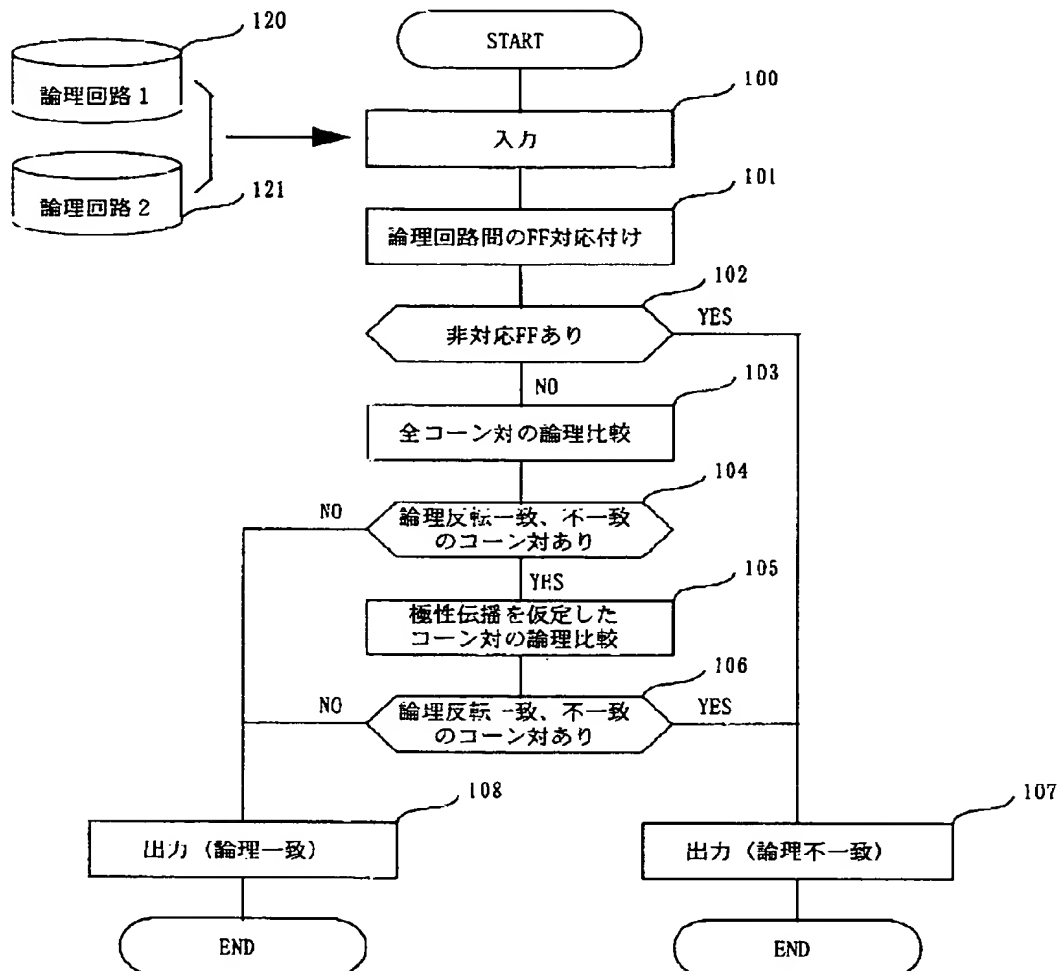
600、700、800、900、1000 論理回路

601、602、701、702、801、802、901、902、1001、1002
 フリップフロップ
 603、604、605、606、607、608、609、703、704、705、
 706、707、708、803、804、805、806、807、903、904、

905、1003、1004、1005 ゲート
 c61、c62、c63、c64、c65、c81、c82、c83、c84、c85、
 c91、c92、c93、c94、c95、c101、c102、c103、c104、c
 105 コーン

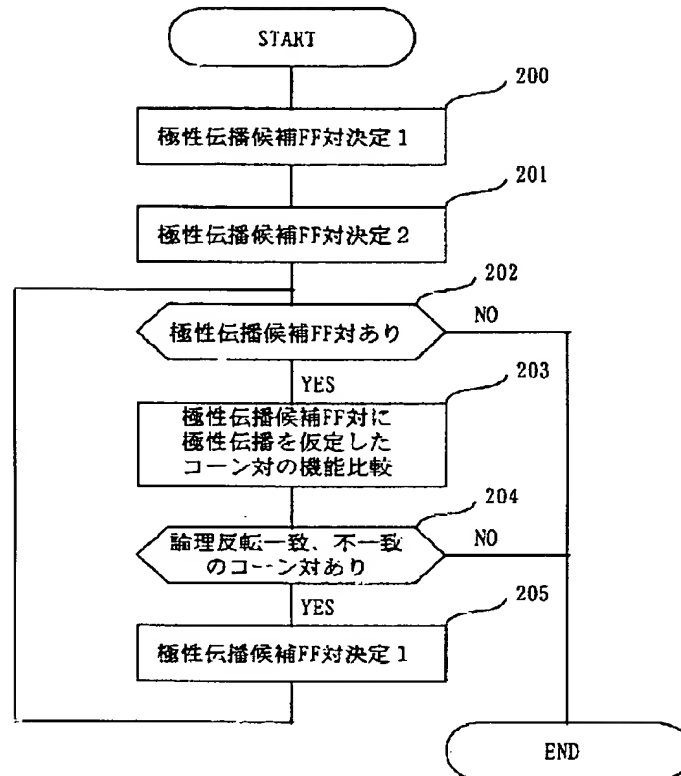
【図1】

図1 論理等価検証のフローチャート



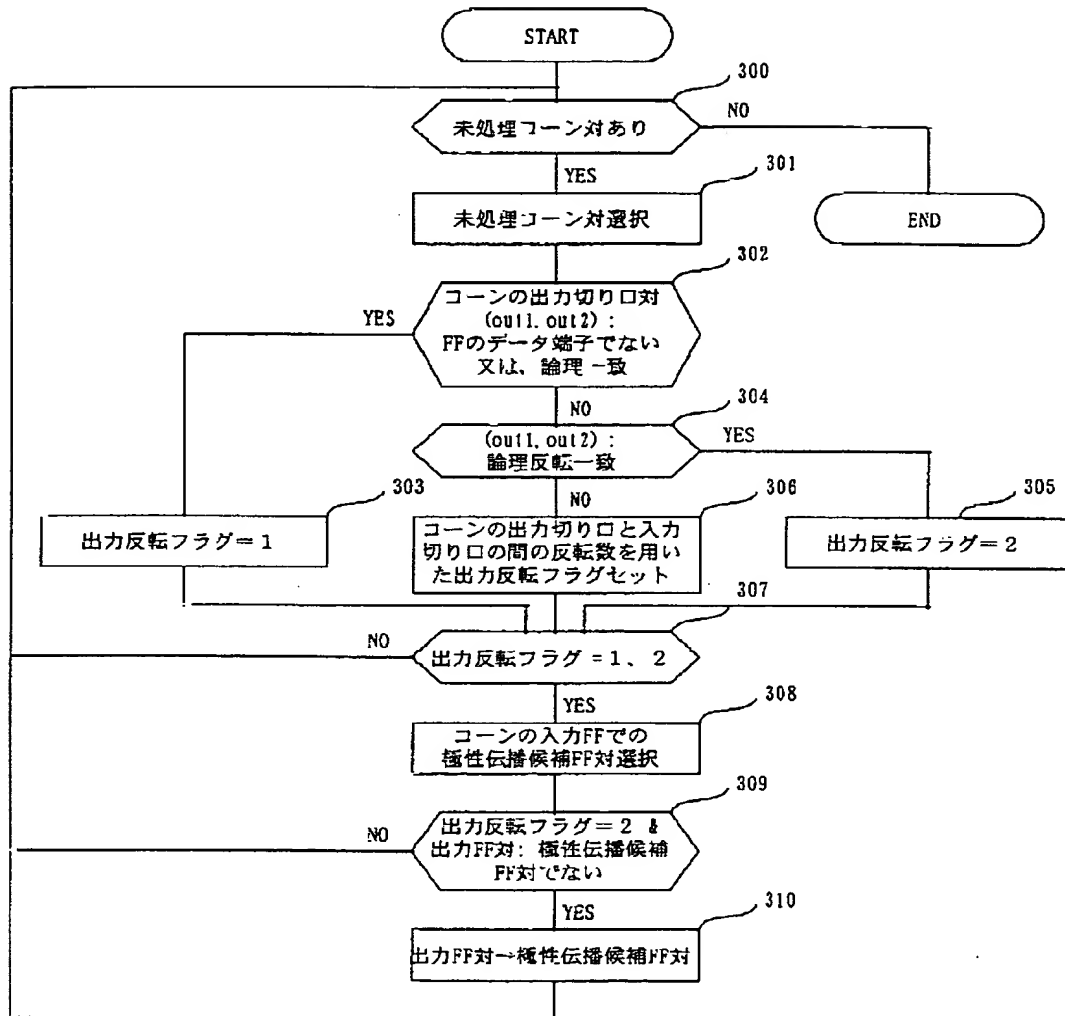
【図2】

図2 ステップ105のフローチャート



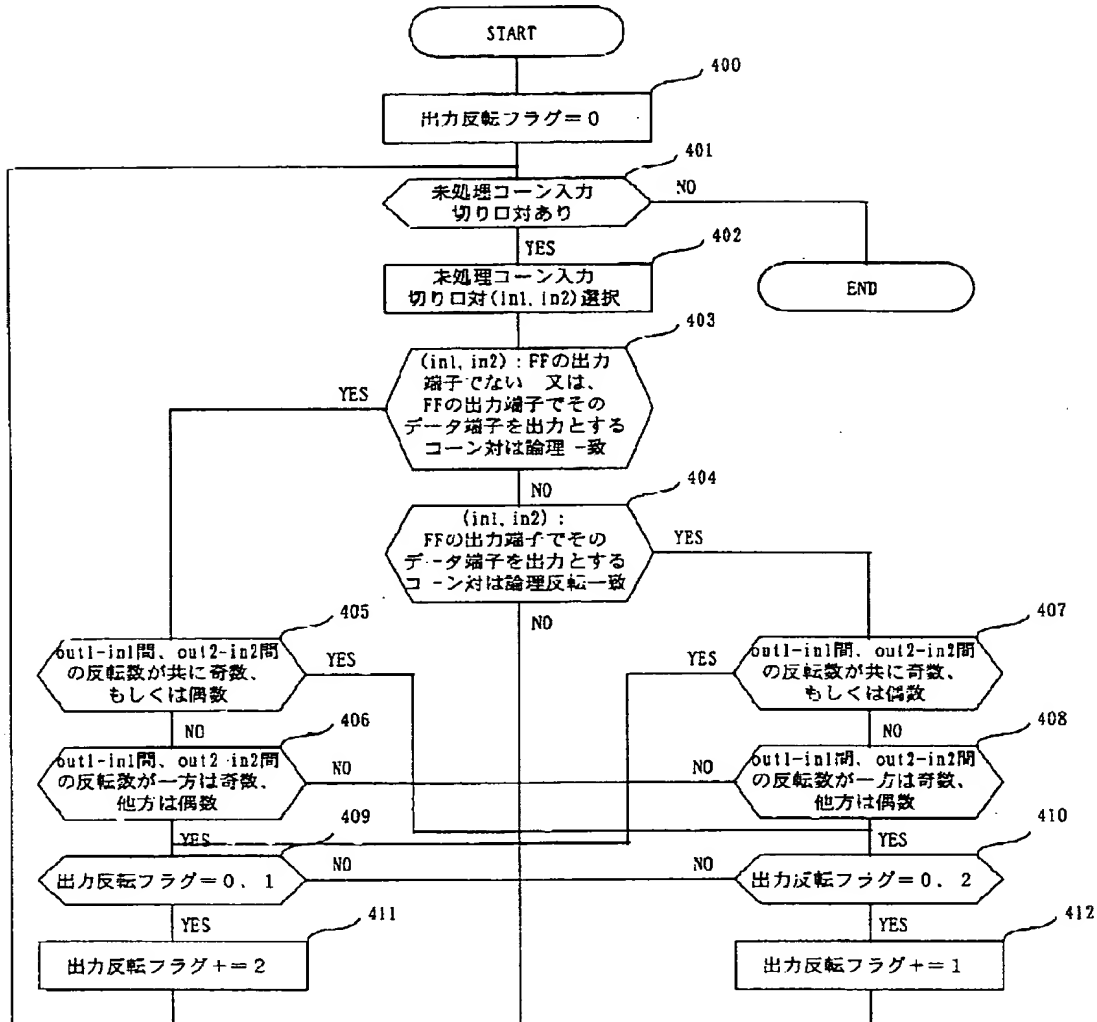
【図3】

図3 ステップ201のフローチャート



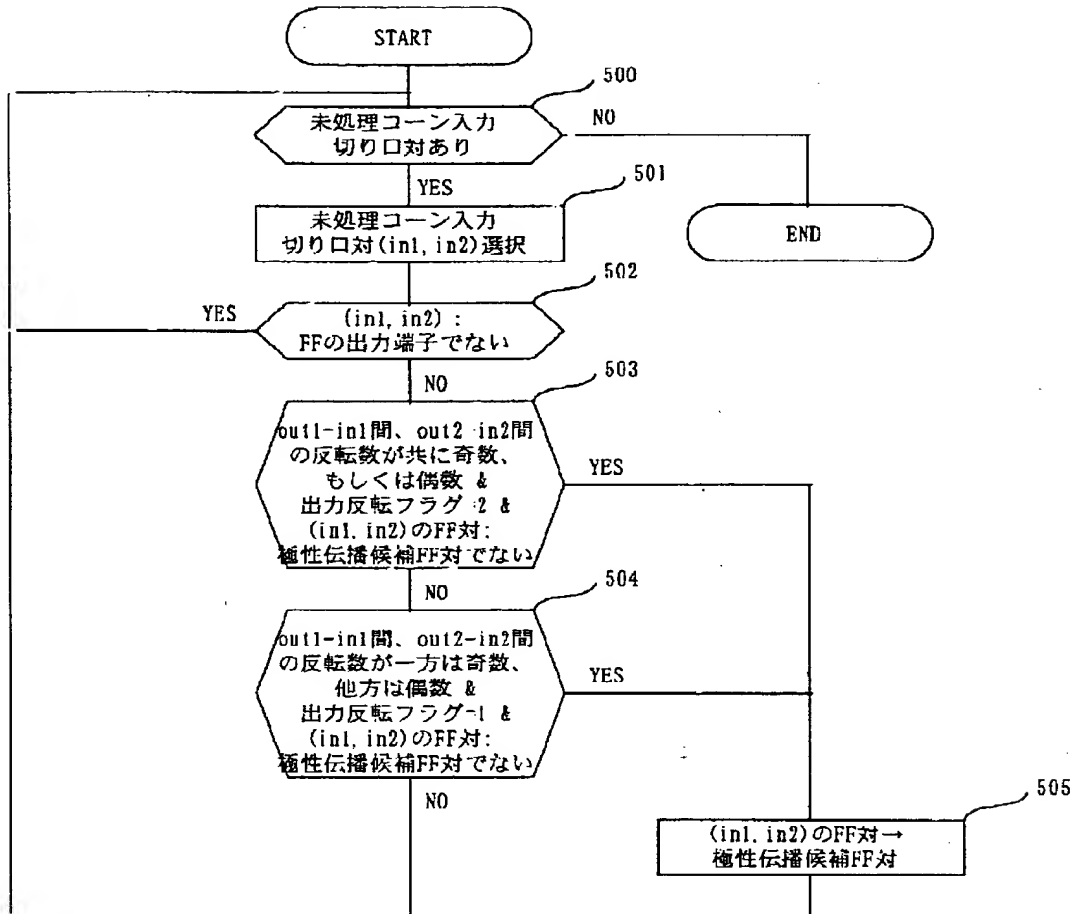
【図4】

図4 ステップ306のフローチャート



【図5】

図5 ステップ308のフローチャート



【図6】

図6 論理回路の例1

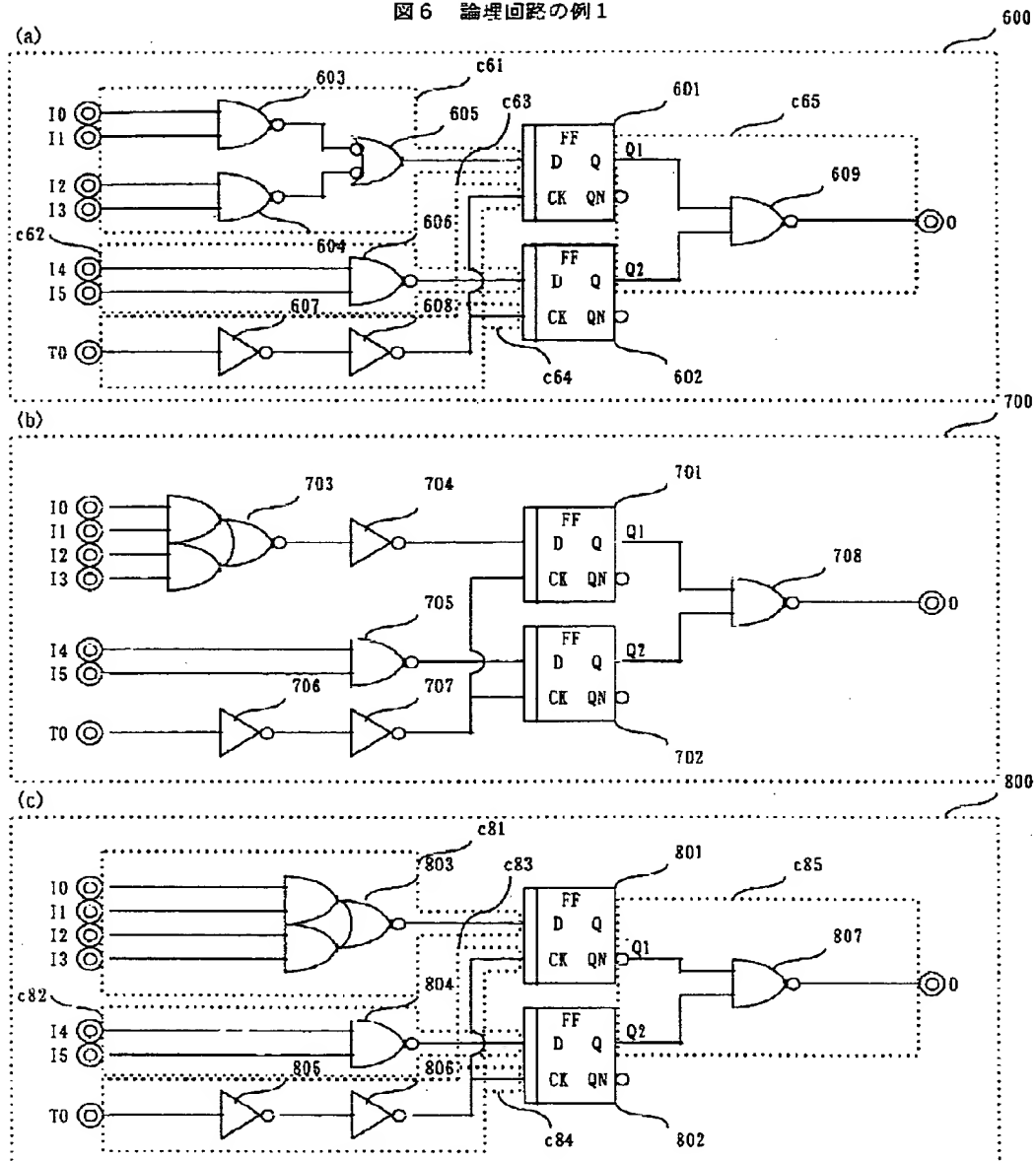
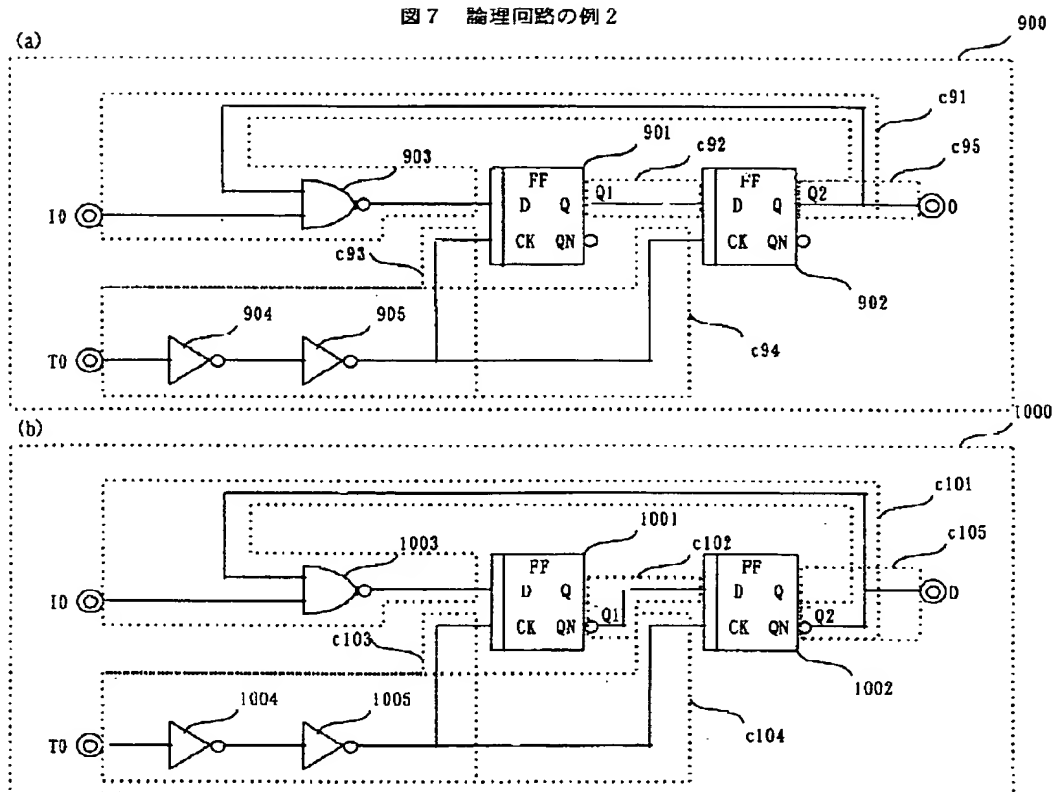


図7 論理回路の例2



フロントページの続き

(72)發明者 榑 博基

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日立製作所汎用コンピュータ事業部内

(72)発明者 石田 智子

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日立製作所汎用コンピュータ事業部内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ ~~FADED~~ TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.